

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Zpracování biosložek z komunálního odpadu metodou HTC
v časové řadě
Processing of municipal waste biofuels using the HTC method in a
time group**

Jméno autora: Kristýna Zedníčková

Rok odevzdání: 2021

ABSTRAKT

Předkládaná práce se zabývá zpracováním biosložek z komunálního odpadu metodou HTC ve dvou časových obdobích (jaro, podzim). Odběr komunálního odpadu, který představoval zejména rostlinnou biomasu, probíhal na skládce, jejichž provozovatelem je podnik OZO Ostrava.

Byl navržen postup hydrotermálního zpracování a bylo provedeno celkem 7 experimentů na vzorcích, které byly odebrané v podniku OZO Ostrava v průběhu jednoho vegetačního období.

Byla provedena materiálová bilance uvedeného procesu a vybranými analytickými metodami byly hodnoceny jednotlivé výstupy z uvedeného procesu.

Výsledky experimentů byly vyhodnoceny a v podmínkách OZO by do budoucna vyrobené biouhlí představovalo potenciální zdroj cenné suroviny, plyn by po úpravě našel energetické uplatnění na skládce nebo i v blízkém okolí.

Klíčová slova: biologicky rozložitelný odpad, komunální odpady, rostlinná biomasa, skládkování, biorafinerie, hydrotermální karbonizace

ABSTRACT

The presented work deals with the processing of bio-components from municipal waste by the HTC method in two time periods (spring, autumn). The collection of municipal waste, which mainly represented plant biomass, took place at a landfill operated by OZO Ostrava.

A hydrothermal treatment procedure was designed and a total of 7 experiments were performed on samples taken in the OZO Ostrava company during one vegetation period.

The material balance of the mentioned process was performed, the individual outputs from the mentioned process were evaluated by selected analytical methods.

The results of the experiments were evaluated and in the conditions of OZO, biochar produced in the future would represent a potential source of valuable raw material, the gas after treatment would find energy application at the landfill or in the vicinity.

Keywords: biodegradable waste, municipal waste, plant biomass, landfilling, biorefinery, hydrothermal carbonization

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu, Dr. Ing. Stanislavu Bartuskovi, za odborné vedení mé práce, jeho čas, cenné poznámky a možnost častých osobních konzultací.

Mé poděkování patří taktéž panu Ing. Josefovi Dvořáčkovi za všechnu pomoc, ochotu a trpělivost při měření experimentů a za seznámení s používanou metodou.

Experimentální výsledky byly získány s využitím velké výzkumné infrastruktury ENREGAT podporované MŠMT, č. projektu LM2018098.

OBSAH

ÚVOD	6
1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ	8
1.1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY VE SVĚTĚ	9
2 BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝ ODPAD	13
2.1 PŮVOD, ZAŘAZENÍ A CHARAKTERISTIKA BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉHO ODPADU	13
2.1.1 Biologicky rozložitelný odpad a biologicky rozložitelný komunální odpad	13
2.1.2 Současný stav zpracování – skládkování	14
2.1.3 Současný stav zpracování – spalování	15
3 POŽADAVKY EVROPSKÉ UNIE	16
4 NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKÝM OPADEM	17
4.1 KOMPOSTOVÁNÍ	17
4.2 ANAEROBNÍ FERMENTACE	18
4.3 MECHANICKO-BIOLOGICKÁ ÚPRAVA	18
4.4 TERMOCHEMICKÉ ZPRACOVÁNÍ BIOLOGICKÉHO ODPADU	19
4.5 BIORAFINÉRSKÉ ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ	19
4.5.1 LCF biorafinérie	20
4.5.2 Celozrnná biorafinérie	20
4.5.3 Zelená biorafinérie	20
5 PRAKTICKÉ APLIKACE VE VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY VE SVĚTĚ	22
5.1 NĚMECKO	22
5.2 ŠVÉDSKO	22
5.3 ŠPANĚLSKO	22
5.4 USA	23
6 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY V ČESKÉ REPUBLICE	24
6.1 KOMPOSTOVÁNÍ V ČR	24
6.2 BIOPLYNOVÉ STANICE V ČR	24
6.3 PRODUKCE BIOMASY Z ENERGETICKÝCH PLODIN	24
7 UPLATNĚNÍ METODY HTC V OBLASTI ZPRACOVÁNÍ BIOODPADŮ	26
8 MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ METODY HTC V PODMÍNKÁCH OZO OSTRAVA	29
9 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
9.1 VZORKY ODEBRANÉHO BIOMATERIÁLŮ	30

9.2	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU A POPIS ZAŘÍZENÍ HTC.....	33
9.3	POPIS HYDROTERMÁLNÍHO REAKTORU	35
10	VYHODNOCENÍ VÝSTUPŮ Z EXPERIMENTŮ	37
10.1	MATERIÁLOVÁ BILANCE EXPERIMENTŮ	37
10.2	HODNOCENÍ PEVNÉ FÁZE	37
10.2.1	Porovnání složení u jarních a podzimních vzorků - technická a prvková analýza	37
10.2.2	Porovnání složení u jarních a podzimních vzorků - rentgenová fluorescenční analýza.....	39
10.3	HODNOCENÍ PLYNNÉ FÁZE	42
	DISKUZE	45
	ZÁVĚR.....	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
	SEZNAM POUŽITÝCH TERMÍNŮ ZKRATEK	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	54
	SEZNAM GRAFŮ.....	55
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM PŘÍLOH	57
	PŘÍLOHY	58

ÚVOD

Samotný biologický odpad představuje například zbytky ovoce a zeleniny, skořápky, travní hmotu, listí, plevel, seno, jemné nebo nadrcené větve, zbytky jídel a ostatní biologicky rozložitelný materiál.

V současné době podléhá zákonu č. 541/2020 sb., kdy 9. 12. 2019 vláda ČR schválila soubor nové odpadní legislativy čítající nový zákon o odpadech v dalších návaznostech a vytvořila tzv. změnový zákon.

Nová legislativa přináší do ČR celoevropský trend zvyšování recyklace komunálního odpadu a Česko tak konečně vykročí na cestu k oběhovému hospodářství.

Nejdůležitějším cílem nové legislativy je především zvýšení třídění a recyklace odpadů, odklon od skládkování a s tím související plnění povinných evropských cílů. Podle nich již v roce 2025 musí celá Česká republika recyklovat veškerý svůj komunální odpad z 55 %. [1]

Jedna ze složek komunálního odpadu představuje biologický odpad, jehož podstatnou část tvoří zeleň, která v případě našeho města je centrálně obhospodařována městskou organizací OZO, která vlastní v městské části Hrušov velkou skládku komunálního odpadu. Druhá její část představuje závod na zpracování městské zeleně a to formou kompostování, jehož výsledkem jsou dva druhy kompostu použitelné jak v aglomeraci města, tak v celé oblasti Moravskoslezského kraje. Základem činnosti tohoto seskupení je sběr zelené hmoty při údržbě městské zeleně.

Proces kompostování je časově velice náročný a v mnoha případech je závislý na aplikaci vhodné techniky a zejména meteorologickým podmínkám. Kompostování nepředstavuje jediný možný způsob zpracování tohoto typu bioodpadu a jako příklad nám poslouží velká stanice založená na procesu zpracování bioodpadu konkrétně městské zeleně společnosti „SUN“ v Halle metodou hydrotermální konverze.

Tato společnost zpracovává veškerou městskou zeleň a je schopna zpracovávat i rostlinný bioodpad ze širšího regionu. Metodou HTC se při rozkladu biohmoty oxid uhličitý váže na uhlík na rozdíl od kompostování, kde se oxid uhličitý dostává do ovzduší.

Podobná úvaha o možnosti zpracování tohoto typu komunálního odpadu vznikla i na pracovištích OZO Ostrava a za tím účelem je provedena předkládaná práce, která umožní zodpovědět otázku jaký je rozdíl v produkci v čase jarní a podzimní údržby.

Při zpracovávání biomateriálu nebo bioodpadu mohou být využity biologické a termochemické metody, jako je anaerobní digesce, torefikace, pomalá pyrolýza, peletizace, zplyňování, zkapalňování a hydrotermální karbonizace. Každá metoda má své vlastní výhody a nevýhody, přičemž hydrotermální karbonizace (HTC) je jednou z nejslibnějších a energeticky nejúčinnějších metod zpracování mokrých odpadních materiálů. Důvodem je, že proces termochemické přeměny v HTC probíhá ve vodní fázi, což neguje velké energetické náklady na odstraňování vody, tedy proces sušení.

1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ

Odpady vznikají prakticky při veškeré lidské činnosti. Vznikají v průmyslu, stavebnictví, zemědělství, dopravě a při běžném životě člověka ve společnosti. Zejména komunální odpady jsou produktem všech obyvatel.

Veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických a právnických osob, a který je uveden jako komunální odpad (KO), lze dále třídit jako:

- Nebezpečný odpad
- Odpad podléhající zpětnému odběru
- **Biologický odpad**

Kvůli svým specifickým vlastnostem a různému riziku ohrožení životního prostředí vyžaduje každý tok odpadů specifické nakládání. Základní pravidla pro nakládání s odpady jsou stanovena *zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech* a jeho prováděcími právními předpisy.

Cíle pro nakládání s odpady a opatření pro jejich dosažení jsou stanoveny *Plánem odpadového hospodářství České republiky (POH ČR)*. Jeho plnění je vyhodnocováno prostřednictvím *Hodnotících zpráv*.

Za účelem pravidelného vyhodnocování plánu odpadového hospodářství, a pro získání podkladů pro správní a kontrolní činnost, je v odpadovém hospodářství vedena evidence odpadů, umožňující v souladu s evropskými předpisy získat podrobné informace o produkci a nakládání s odpady. Získané informace jsou důležitým podkladem pro další strategické plánování v oblasti odpadového hospodářství, oběhového hospodářství a legislativní činnost Ministerstva životního prostředí (viz Tabulka č. 1). [3]

Oblast nakládání s odpady zahrnuje také přeshraniční přepravu odpadů z ČR a do ČR či přes její hranice. Přeshraniční přeprava je upravena právními předpisy EU a je povolována v rámci správního řízení tak, aby byly minimalizovány její rizika a dopady na životní prostředí. [2]

VŠECHNY ODPADY [ROK]	PRODUKCE [%]	VYUŽITO [%]	Z toho MATERIÁLOVĚ VYUŽITO [%]	Z toho ENERGETICKY VYUŽITO [%]	ODSTRANĚNO [%]	Z toho SKLÁDKOVÁNÍ [%]	JINÉ [%]
2009	32,3	74,5	72,5	2	15	15	10,5
2010	31,8	73,5	71	2,5	13,5	13,5	13
2011	30,7	78	75	3	13	13	9
2012	30	79	75,5	3,5	13	13	8
2013	30,6	79,5	76	3,5	11	11	9,5
2014	32	83	79,5	3,5	10	10	7
2015	37,3	86	83	3	9	9	5
2016	34,2	85	82	3	9	9	6
2017	34,5	84	81	3	10	10	6
2018	37,8	86	83	3	9	9	5
2019	37,4	88	84,5	3,5	9,5	9,5	2,5

Tabulka č. 1: Produkce a nakládání s odpady v ČR v letech 2009 – 2019 [3]

Pozn.: Zdroj: ISOH, MŽP Pozn. Data jsou zpracována podle platné metodiky pro daný rok – „Matematického vyjádření výpočtu soustavy indikátorů odpadového hospodářství“ v souladu s vyhláškou č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění k danému roku.

1.1 Nakládání s odpady ve světě

Společnost Sensoneo na základě vlastní analýzy umožnila sestavit pořadí 36 společenských států OECD - *Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)* podle vyprodukovaného objemu a odpadu a způsobu, jak s ním nakládají.

Nejlépe je na tom Jižní Korea díky propracovanému recyklačnímu systému. Za ní následuje Švédsko a Japonsko. Česká republika skončila na dvacátém místě. Nejhuře naopak dopadlo Turecko kvůli velkému množství nelegálních skládek. Odpad se zde navíc nerecykluje a nespaluje.

Nejvíce recyklují Island, Německo a USA. Největším producentem odpadu v přepočtu na obyvatele je USA (809 kg/rok). Nejméně odpadu naopak vyprodukuje Polsko (315kg/ obyvatele ročně).

Česká republika se umístila v TOP 15 na dvanáctém místě (viz Tabulka č. 2) [4], hlavně kvůli průměrnému ročnímu objemu odpadu vyprodukovanému v přepočtu na obyvatele. Je to druhý nejnižší objem mezi všemi státy. [4]

	Země	Objem odpadu	Recyklace	Spalování	Skládky	Nelegální skládky	Odpad*	Počet bodů celkem
1	Jižní Korea	0.45	3.79	0.36	0.4	0	0	100
2	Švédsko	1.39	2.66	0.92	0.02	0	0	93.09
3	Japonsko	0.32	1.3	1.11	0.03	0	0	92.48
4	Švýcarsko	3.96	4.11	1.36	0	0	0	89.14
5	Nizozemí	2	2.3	0.99	0.05	0	0	87.43
6	Německo	3.22	5.51	0.79	0.01	0	1.86	87.32
7	Finsko	1.97	2.61	0.96	0.4	0	0.01	87.18
8	Belgie	0.96	2.56	0.73	0.03	0	1.39	85.44
9	Norsko	1.08	2.01	0.89	0.1	0	0.88	84.97
10	Polsko	0	1.51	0.15	0.87	0	0	84.74
11	Dánsko	4.72	3.88	1.67	0.06	0	0.02	84.43
12	Česká republika	0.29	1.6	0.22	1.15	0	0	82.22
13	Austrálie	2.48	4.29	0.22	1.88	0	0	80.85
14	Island	3.45	6.67	0.12	3.31	0	0	80.1
15	Lucembursko	2.96	3.14	0.85	0.76	0	0.26	80.01

* Odpad s nedohledatelnou konečnou stopou/ nezaúčtovaný odpad

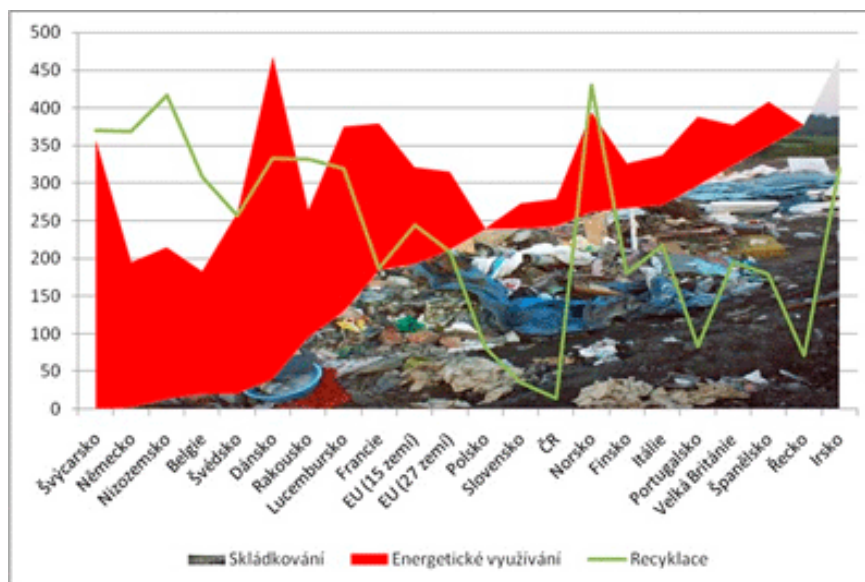
Tabulka č. 2: Pořadí 36 společenských států podle ročního objemu odpadu
vyprodukovanému v přepočtu na obyvatele a způsobu, jak s ním nakládají [4]

Společnost *Sensoneo* na základě vlastní analýzy, vytvořila tabulku, z které vyplývá, že nejlépe je na tom Jižní Korea, která má propracovaný recyklační systém. Naopak nejhůře je na tom Turecko, díky velkému množství nelegálních skládek.

Nový Zéland odpad výhradně skládkuje. Ve Švýcarsku na skládce nekončí skoro žádný odpad a zrecykluje se tam 225 kg odpadu ročně na obyvatele. Dánsko spaluje ze všech zemí největší objem odpadu až 445 kg na obyvatele.

Biologický odpad je významnou složkou komunálního odpadu, který vzniká v každé domácnosti. Přístup k řešení tohoto problému není ve světě jednotný a je závislý na mnoha faktorech. Základní myšlenkou, akceptovatelnou ve všech zemích, je primární separace přímo v místě vzniku. Jedná se o sklo, papír, plasty, nápojové kartony, kovy i vlastní *bioodpad*, který je produktem různých lidských činností spojených s údržbou zeleně, potravním řetězcem a zemědělskou činností.

Obecně se však dá říci, že rozvinuté země odpady recyklují, zbytek energeticky využívají a skládkuje minimálně. Pro ochranu životního prostředí je důležité, aby se prováděl separovaný sběr, předcházelo vzniku biologicky rozložitelných odpadů, a pokud už vzniknou, aby se sbíraly odděleně a správně se s nimi nakládalo (viz graf č. 1). [5]



Graf č. 1: Nakládání se směsným KO v Evropě (údaje kg/osobu/rok),
zdroj: Eurostat [5]

Z grafu vyplývá, že v Německu a Švýcarsku se téměř neskládkuje, protože odpady se energeticky využívají. V Holandsku, Rakousku, Belgii a Dánsku jde na skládky jen minimum odpadů. Ze „starších“ zemí EU se hodně skládkuje v Norsku a Finsku, které

mají řídké osídlení. Ve Velké Británii bylo historicky vybudováno velké množství skládek, ale s novou evropskou legislativou se situace mění a ve výstavbě je několik spaloven. Podle oficiálního sdělení je třeba ve Velké Británii vystavět během příštích deseti let padesát nových spaloven odpadů. Jinak můžeme velký podíl skládkování vidět zejména u „*nových*“ evropských zemí.

2 BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝ ODPAD

2.1 Původ, zařazení a charakteristika biologicky rozložitelného odpadu

Jedna z řady definic uvádí, že „*biologicky rozložitelný odpad je jakýkoliv odpad, který je schopný aerobního nebo anaerobního rozkladu.*“ Vzniká buď v přírodě, která ho přirozeně využívá ve svůj prospěch a nedochází tak k zatěžování životního prostředí nebo lidskou činností, při které je nutné jeho vznik a nakládání usměrnit. *Směrnice Rady o skládkách* považuje omezení množství biologicky rozložitelného odpadu nebo biologicky rozložitelného komunálního odpadu ukládaného na skládky za hlavní strategii pro snižování emisí methanu. [6]

V přírodě představuje spadané listí stromů, větve, trávu, odumřelé části stromů, trus zvířat apod., takový biologický odpad, který nezatěžuje životní prostředí a příroda ho po časovém odstupu, kdy dochází k rozkladu, využívá ve svůj prospěch ve formě živin.

2.1.1 Biologicky rozložitelný odpad a biologicky rozložitelný komunální odpad

Biologicky rozložitelné odpady, které vznikají lidskou činností, jsou jakékoliv odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Vznikají převážně v průmyslu, zemědělství a jiné výrobě. V Katalogu odpadů (*vyhláška č. 8/2021 Sb.*) jsou pro tyto druhy odpadů přiřazena následující katalogová čísla (viz Tabulka č. 3). [7]

Katalogové číslo	Kategorie	Název
020101	O	Kaly z praní a z čištění
020102	O	Odpad živočišných tkání
020103	O	Odpad rostlinných pletiv
020104	O	Zvířecí trus, moč a hnůj (včetně znečištěné slámy), kapalné odpady, soustředěvané odděleně a zpracovávané mimo místo vzniku

Tabulka č. 3: Katalog odpadů – ukázka katalogová čísla [7]

Za zařazení pod správné katalogové číslo zodpovídá původce. Postup zařazování je definován v *Katalogu odpadů*.

Biologicky rozložitelné komunální odpady produkují občané, resp. obce. Zařazují se pod katalogová čísla ve skupině 20 – Komunální odpady (viz Tabulka č. 4).

Katalogové číslo	Kategorie	Název
200101	O	Papír a lepenka
200108	O	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
200110	O	Oděvy
200111	O	Textilní materiály

Tabulka č. 4: Ukázka – Katalog odpadů 20 – Komunální odpady [7]

Bioodpad, který vyprodukují domácnosti, se donedávna umisťoval na skládky komunálního odpadu. Ty proto začaly nabírat nekontrolovatelné rozměry a proto se přistoupilo ke změnám v oblasti nakládání s komunálním odpadem.

Z pohledu biologicky rozložitelného komunálního odpadu je separace velmi důležitá, protože biologický odpad tvoří prakticky 50% komunálního odpadu.

Nejčastějším způsobem nakládání s bioodpadem (podobně jako s jinými druhy odpadu) bývalo skládkování, na druhém místě bylo spalování ve spalovnách a mnohdy se stal odpad ze zahrad i součástí černých skládek.

Sám o sobě je ve většině případů bioodpad neškodnou směsí rozložitelných látek, ale jeho směřováním s ostatními druhy odpadů přispívá ke zvýšení škodlivých a nekontrolovatelných reakcí na skládkách i ve spalovnách.

2.1.2 Současný stav zpracování – skládkování

Organický odpad se rozkládá na skládce v anaerobních podmínkách, vzniká skládkový plyn (metanogenní fáze), jehož prioritní složkou je methan (CH_4).

Methan je jedním z hlavních atmosférických stopových plynů odpovědných za rozšířený problém skleníkového efektu. Je zjištěno, že v globální škále přispívá methan k tomuto efektu přibližně 15 %. Methan přispívá ke skleníkovému efektu přibližně 21x více než hlavní skleníkový plyn oxid uhličitý, který vzniká při aerobním

rozkladu biologického odpadu. Narůstající koncentrace skleníkových plynů v atmosféře indikují narůstání globálního teplotního průměru, což může vést k potenciální katastrofické klimatické přeměně.

Zároveň mohou biologicky rozložitelné odpady změnami svého objemu během skládkování narušovat těsnost skládky a následně způsobit únik toxických výluhů do spodní vody.

2.1.3 Současný stav zpracování – spalování

Technologie spalování biomasy je jedna z nejlevnějších možností vytápění, použití moderních kotlů se spalováním dřevoplynu, lze tuto technologii považovat za ekologickou. Přes tyto výhody, se ale také potýká s mnoha negativními faktory. Jde především o výběr vhodného typu biomasy. Omezuje se na materiály s vysokým obsahem sušiny a nízkým obsahem škodlivých látek.

Bioodpad, mezi nimiž jsou v prioritním měřítku potraviny, tedy bioodpad vyprodukovaný z domácností, textilní materiály apod., který se dostane do spalovny, stává se možným zdrojem tvorby toxických plynů – dioxinů. Vznik tohoto plynu podporuje vysoká vlhkost odpadu a také obsah kuchyňské soli (NaCl), kde dochází k uvolňování chloru.

Spalováním odpadu vzniká popel, který vyžaduje další likvidaci, ale také v kouři jsou obsaženy skleníkové plyny například CO_2 a NO_x . [16]

3 POŽADAVKY EVROPSKÉ UNIE

Evropská unie požaduje po svých členských státech, aby skládkování odpadů radikálně omezily a posléze už vůbec nepraktikovaly, neboť hrozí vysoké finanční pokuty. Ukládá to *evropská směrnice 99/31/ES*.

Evropská směrnice 99/31/ES vyžaduje nakládat s odpady, zvláště pak zejména biologických (po vytrídění všech využitelných složek), a to i spalováním s výrobou energie.

EU stanovuje termíny týkající se redukování množství odpadu určeného ke skládkování [4]:

- 2010 o 25% méně biologicky rozložitelných odpadů než v roce 1995
- 2013 o 50% méně biologicky rozložitelných odpadů než v roce 1995
- 2020 o 65% méně biologicky rozložitelných odpadů než v roce 1995

Měla by být přijata vhodná opatření za účelem zajištění řádného uplatňování hierarchie způsobu, jak nakládat s odpady. *Od roku 2030 se bude uplatňovat omezení na veškerý odpad, který je vhodný na recyklaci, materiálové nebo energetické využití.*

Tato omezení se neuplatní tehdy, kdy lze prokázat, že odpad není vhodný k materiálovému nebo energetickému využití a k recyklaci ani k jinému dalšímu využití, aby *skládkování* vedlo k dosažení nejlepšího celkového výsledku z hlediska životního prostředí v souladu s navrženými způsoby nakládání s odpady stanovenými ve *směrnici 2008/98/ES*. [8]

4 NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKÝM ODPADEM

Biologickým odpadem rozumíme látky organického původu, které při aplikaci různých, mechanických, fyzikálně chemických, chemických a biologických metod jsou schopny procesu degradace za vzniku mnoha dalších hospodářsky využitelných látek.

V rámci uvedených procesů mění zásadně svůj charakter a svými výstupy jsou využitelné pro různé aplikace v průmyslu a zemědělství. Podmínkou pro oblast dalšího využití je znalost vstupního složení, která předurčuje pak i způsob možného zpracování.

K základním známým a hojně využívaným metodám řadíme různé typy mechanického zpracování, biologických úprav, termického využití a další kombinovaných metod využívaných hlavně v biorafinériích.

Biorafinerské metody dnes řadíme k nejkomplexnějším metodám využití biomateriálů a to nejen ve formě odpadní hmoty.

Existují různé metody, jak je možno nakládat s biologickým odpadem, tak aby ztratily svou nebezpečnost nebo se staly znovu využitelnými materiály. Biologické zpracování odpadů využívá např. mikroorganismy, které jsou řízeny biologickými katalyzátory neboli enzymy. Podle druhu odpadu je pak pro každý rozkladný proces vyžadován jiný druh mikroorganismu a jiný teplotní a vlhkostní režim a v neposlední řadě i pH prostředí.

Pro biologickou úpravu odpadů se využívá řada mikroorganismů, například bakterie, plísně, kvasinky, nižší houby apod. Velkou výhodou nakládání s biologickým odpadem pomocí biologického procesu je, že dokážou rozkládat nebezpečné a pro lidské tělo toxické organické látky na neškodné produkty.

Metody kompostování, anaerobní digesce, mechanicko-biologická úprava odpadu získaly díky svým přednostem nejširší uplatnění. [9]

4.1 Kompostování

Produkt tohoto procesu je kompost. Kompost je substrát, který nalézá mnoha uplatnění, nejen při aplikaci do půdy. Dodává půdě většinu prvků a minerálních látek,

kteřé půda ztratila vlivem zemědělské činnosti a zásahu člověka. Nejvíce biologického rozložitelného odpadu končí na skládkách, což je velice neefektivní. BRKO lze využít jinak efektivněji. Při uložení na skládce vznikají touto cestou procesy, kdy se při rozkladu uvolňují některé plyny, které jsou živým organismům nepříjemné. Mnohé studie ukazují, že řada z nich vyvolává klimatické změny, kterým by se při efektivnějším nakládání s BRKO dalo alespoň z části předejít. Díky těmto skutečnostem byla přijata směrnice 1999/31/ES, která vyjadřuje postupné snižování biodegradovatelných odpadů ukládaných na skládky v členských státech EU až na minimum například metodou aerobní kompostování.

4.2 Anaerobní fermentace

Anaerobní digesce nebo anaerobní fermentace, představuje technologii efektivního využívání BRO jako obnovitelné zdroje energie.

Anaerobní fermentace představuje mnohastupňový biologický proces probíhající bez přístupu kyslíku (vzduchu). Dochází zde k rozkladu organických látek pomocí mikroorganismů.

Podle technologického hlediska je důležité, aby zpracovávaný odpad byl dobře homogenizován a hermeticky uzavřen bez přístupu vzduchu. Konečný produkt je bioplyn, který může v přírodě vznikat samovolně (močály, bažiny) nebo řízenou cestou v bioplynových stanicích, který se dále využívá např. v energetice. Rozložená organická hmota se dnes využívá převážně zaoráváním do půdy jako hnojivo. [10]

4.3 Mechanicko-biologická úprava

Tato metoda je určena především na zpracování zbytkového komunálního odpadu. Hlavním cílem před uložením na skládky je předúprava odpadů a částečné využití některé složky těchto odpadů.

Mechanicko-biologická úprava zahrnuje kombinaci dvou hlavních technologických procesů. Jedná se o mechanické vytrídění, kdy jsou vytríděny různé složky komunálního odpadu (kovy, plasty, biologická frakce a následně její zpracování). Takto stabilizované odpady již na skládkách nepodléhají biologické degradaci. Z toho vyplývá, že je snížena tvorba skleníkových plynů, nebezpečných výluhů a zápachů. [10]

4.4 Termochemické zpracování biologického odpadu

Alternativou možného termického zpracování biologických odpadů je hydrotermální karbonizace. Jedná se o chemický proces vedoucí k jednoduché a vysoce účinné přeměně organické hmoty na pevný zbytek, podobný hnědému uhlí, dále syntézní plyn (převážně směs CO a H₂), ale také CO₂ (podle způsobu vedení procesu) a tekutá fáze vzniklá ve vodě rozpuštěných chemických látek, jež jsou součástí biohmoty (cukry, škroby aj.). Tento proces, který trvá v řádu hodin, simuluje procesy v přírodě, které trvají v řádech milionů let.

4.5 Biorafinérské zpracování odpadů

Jedná se o technologii, kde dochází k paralelní konverzi odpadní biomasy na biochemikálie, biopaliva a biomateriály.

Zelená biorafinérie jako pojem již byl definován v roce 1997, takto: „*zelené biorafinérie představují komplexní systémy (plně integrované) udržitelné a environmentální. Technologie, které jsou šetrné k životnímu prostředí.*“ (Kamm et al. 1998).

Dnes jsou preferovány tři typy biorafinérie:

1. *celozrnná biorafinérie*, která využívá suroviny, jako jsou například: kukuřice nebo obiloviny.
2. *zelená biorafinérie* - využívá přirozeně mokrou biomasu jako například: nezralé obiloviny, vojtěška, zelená tráva, jetel.
3. *LCF – (lignocelulózová surovina)* – jedná se o biorafinérii, která využívá přirozeně suchou biomasu, například: biomasa a odpady obsahující celulózu (viz obrázek č. 1).

4.5.1 LCF bioraфинerie

Lignocelulózové materiály se skládají ze tří hlavních surovin:

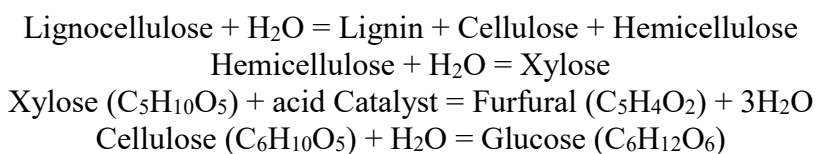
HEMICELULÓZA, cukerný polymer převážně pentóz, polyózy

CELULÓZA, polymer glukózy

LIGNIN, polymer s fenoly

a další organické látky podle typu rostliny.

LCF-bioraфинerie je vyjádřena následujícími rovnicemi [11]



4.5.2 Celozrnná bioraфинerie

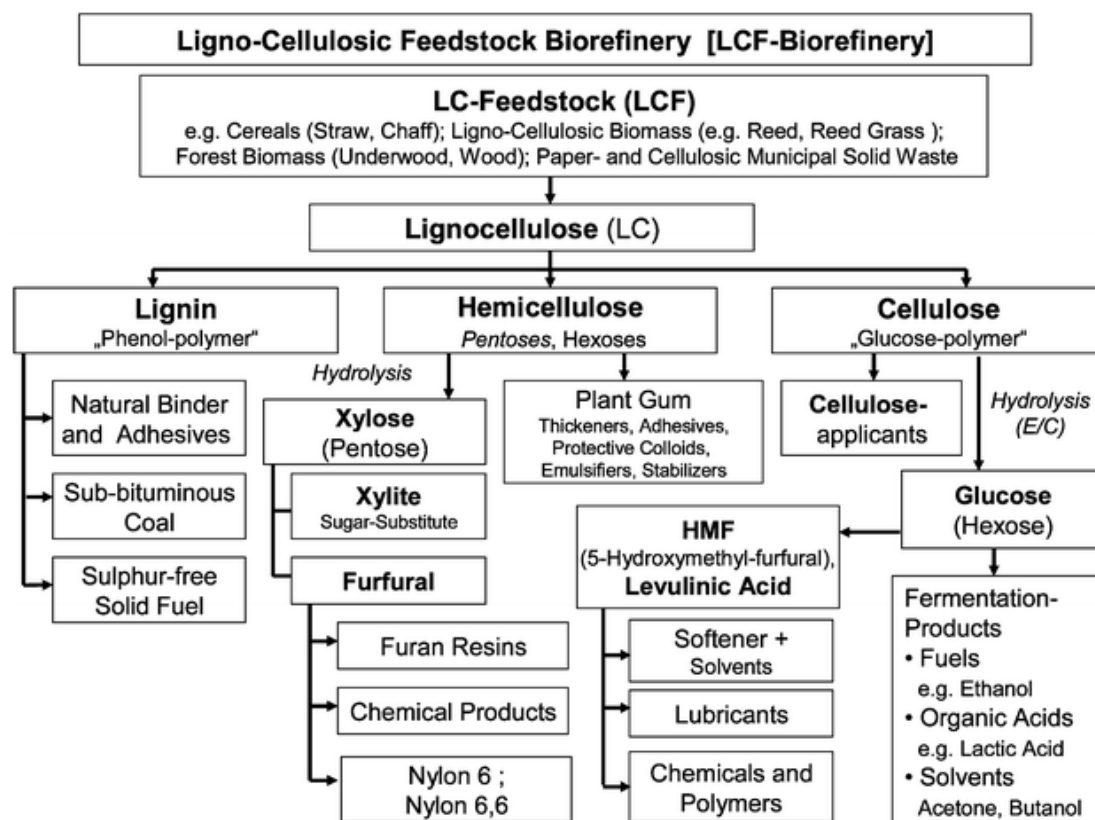
Hlavními surovinami pro celozrnnou bioraфинerii jsou zde obiloviny (žito, kukuřice, pšenice apod.). Prvním krokem technologického postupu je třeba mechanicky plodinu rozdělit na zrno kukuřice a stvol-slámu. Následuje další dělení jak zrna (na biosložky jako na hemicelulózu, celulózu a lignin) a jejich další konverze (viz obrázek č. 1: LCF – bioraфинerie).

Kukuřice může být dále přeměněna na škrob nebo přímo po rozemletí se používá potravinou ve formě mouky. Další zpracování může být prováděno po rozdrcení zrna jeho plastifikací, chemickou modifikací nebo biotechnologickou konverzí pomocí glukózy (Nonato et al. 2001).

4.5.3 Zelená bioraфинerie

Zelená bioraфинerie využívá přirozeně vlhkou zelenou biomasu (tráva, vojtěška, jetel apod.). Technologie mokré frakce se využívá jako první krok (primární rafinérie) – izolace zelené biomasy v její přirozené formě. Další je pak tzv. lisovaný koláč, který obsahuje kromě celulózy a škrobu hodnotná barviva a pigmenty, surové drogy a další organické látky.

K výrobě lze použít lisovaný koláč jako zelené krmné pelety, surovinu pro výrobu chemikálií (kyselina levulinová), syntetická biopaliva (Kamm et al. 1998, 2002; Narodoslawsky 1999).



Obrázek č. 1: Přehled potenciálních produktů LCF bioraфинerie [11]

Zajímavými produkty jsou zde furfural a hydroxymethyl furfural. Výchozím materiálem pro výrobu Nylon 6 a Nylon 6,6 je furfural. Zde je třeba si povšimnout, že neexistují žádné přírodní enzymy k rozdělení přirozeně vytvořeného ligninu na základní monomery, tak snadno, jak je možno přirozeně vytvořit polymerní sacharidy nebo bílkoviny. (Ringpfeil, 2002).

5 PRAKTICKÉ APLIKACE VE VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY VE SVĚTĚ

S rostoucí spotřebou primárních surovin a s tím spojenými velkými zátěžemi do životního prostředí se v řadě zemí světa zvýšil zájem o alternativní technologie, kde základní zpracovávanou složkou je biomasa, a to odpadní nebo záměrně produkovaná. Uvedené problematice se věnuje celá řada institucí a převádí získané poznatky z laboratorních a poloprovozních zařízení do průmyslové praxe. Přitom je využito zkušeností z řady postupů popsanych v předcházející kapitole bakalářské práce - nakládání s biologickým odpadem.

5.1 Německo

Některé z výše popsanych technologií jsou v Německu využívány již delší dobu. Kompostování a anaerobní digesci využívá již několik desítek let. V kompostování dosahuje nejvyšší míru zhodnocení a výroby kompostu, díky oddělenému sběru bioodpadu z domácností.

Německo se může pochlubit velkou sítí mechanicko-biologických úprav, stejně jako sítí bioplynových stanic, které patří mezi největší v zemích EU. Například mechanicko-biologická úprava odpadů v Cröbern (největší v SRN) nebo bioplynová stanice v Lüchově na kukuřici. [12]

5.2 Švédsko

Švédsko má velmi vyspělé technologie zpracování bioodpadu. Zpracování bioodpadu je prováděno v bioplynových stanicích. Mechanicko-biologická úprava se zde používá jako třídění BRKO, výsledný produkt se pak uplatňuje k výrobě paliva. Příkladem může být Švédská bioplynová stanice Kristianstad. [13]

5.3 Španělsko

Ve Španělsku převažuje kompostování, sběr odděleného bioodpadu z domácností není tak plně rozvinut. Co se týče kapacity z celkové produkce, tak zpracovává bioodpad pomocí anaerobní fermentace. Mechanicko-biologická úprava odpadů v Barceloně. [14]

5.4 USA

Široce uznávaný význam využívání biomasy dal v USA podnět (při konstatování, že dochází k hromadění uhlíku v biosféře) k vytváření nových průmyslových odvětví. Od roku 1990 se ve Spojených státech obnovuje zájem o vývoj pokročilých cyklů výroby energie využívajících zplyňování biomasy. Pokročilé systémy mají ve srovnání s konvenčními systémy přímého spalování potenciál pro vyšší účinnost výroby, 35% až 40%, a nižší náklady na elektřinu, 0,045 až 0,055 USD / kWh.

Spalování biomasy v rozsahu až 20% substituce vytvářející hodnotou tepla např. v jihozápadním Coloradu v USA.

Většina lesní biomasy, která se v současné době používá k výrobě energie, je ve formě zbytků z dřevozpracujících závodů a zbytků z těžby dřeva, (např. vrcholků stromů). V USA se každoročně generuje značné množství zbytků po těžbě (dále jen lesní biomasa), přesto je většina této lesní biomasy ponechána na místě k rozkladu nebo likvidována spálením. [15]

6 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY V ČESKÉ REPUBLICE

6.1 Kompostování v ČR

Tradice výroby průmyslových kompostů sahá na území České republiky až do roku 1915. Kompostování má nejstarší tradici nakládání s bioodpadem v České republice. Od roku 1998 je evidentní růst zájmu o kompostování odpadů, a to zejména odpadů z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, dřevní štěpka).

V ČR jsou vybudovány v každém kraji kompostárny s dostatečnou kapacitou na zpracování biologicky rozložitelného odpadu. [21]

6.2 Bioplynové stanice v ČR

V České republice je v současnosti dle údajů na stránkách České bioplynové asociace 554 bioplynových stanic. Nejstarší bioplynová stanice se nachází v Třeboni, která je nepřetržitě v provozu od roku 1974. Od té doby zpracovává 120 metrů krychlových kejdy denně a má instalovaný výkon 175 kWe a 226 kWtep. [19]

6.3 Produkce biomasy z energetických plodin

Biomasu vhodnou pro energetické využití můžeme rozdělit do dvou skupin:

- biomasa, která je vhodná pro spalování a zplyňování
- biomasa určena pro anaerobní fermentaci

Bionafta

Výroba bionafty resp. methylesteru řepkového oleje (MEŘO), vychází z využití 270 000 ha zemědělské plochy. V současné době mají výrobní bionafty kapacitu zpracovávat 62 500 tun za rok. Při průměrné výhřevnosti MEŘO 38 GJ/t a roční produkci řepky 243 000 tun je dostupný potenciál výroby bionafty 9 250 TJ.

Bioethanol

Potenciální produkce bioethanolu je v přímé závislosti na základě roční produkce cukrové řepy a obilnin. Pro výrobu bipethanolu nejsou uvažovány žádné další zdroje – např. dřevní odpad. Jeho případné použití může, ale

nutně nemusí, kolidovat s jeho jiným energetickým využitím. Dostupný energetický potenciál bioethanolu je předpokládán v objemu 9000 TJ. [22]

7 UPLATNĚNÍ METODY HTC V OBLASTI ZPRACOVÁNÍ BIOODPADŮ

Historie metody HTC

HTC v syntéze materiálů je 100 let stará technika, stále rostoucí zájem o tuto techniku vyplývá původně z tvorby dřevěného uhlí. Bergius nejprve popsal hydrotermální transformaci celulózy do materiálu podobnému uhlí v roce 1913. Poté podrobná šetření byly zaměřeny na zdroj biomasy, proces formování a identifikaci konečného složení uhlí.

V posledních několika letech bylo z biomasy vyrobeno procesem HTC řada funkčních uhlíkatých materiálů. Tyto materiály ukázaly velký potenciál v mnoha oblastech. V dnešní době s postupným oceněním hydrotermálního procesu a mechanismu specifické karbonizace. Tento proces slouží k tvorbě nových uhlíkových a uhlíkatých materiálů z biohmoty s důležitými následnými aplikacemi. [17]

Uplatnění metody HTC

V průmyslové praxi se postupně setkáváme i s využitím nových metod na bázi biorefinerského zpracování, stejně jako v oblasti hydrotermálního zpracování biohmoty, například německá společnost „SUN“ v městě Halle. Vsádkový reaktor společnosti SUN je schopen zpracovat bioodpad na uhlíkové pelety nejen ze samotného města, ale i z širokého okolí v okruhu kolem 60 km a tyto pelety využít k revitalizaci potřebných lokalit přidavkem do půdy. V současné době vyvíjí několik firem reaktory pro hydrotermální karbonizaci rostlinných odpadů a to jak vsádkové, tak kontinuální. Cílem je vyvinout spolehlivý kontinuální proces určený pro specifický odpad v dané lokalitě. Jeden prototyp je ve zkušebním provozu v obci Grasbrunn v Německu

V červenci a srpnu 2010 provedla společnost *Ingelia* ve **Španělsku** proces spuštění vlastní hydrotermální karbonizace. Jedná se o první průmyslový závod HTC na světě, schopný karbonizovat biomasu v kontinuálním procesu pomocí HTC.

Jedná se o prototyp závodu, který je schopný vyrábět biouhlí (hydrochar) a kapalná hnojiva z jakéhokoli druhu mokrého organického odpadu (viz obrázek č. 2). [23]

Hlavním produktem je biouhlí, které je homogenní, energetický výkon biomasy je kolem 24 MJ/kg, podobně jako hnědé uhlí s obsahem uhlíku mezi 54% - 62%.

Biouhlí je vysoce kvalitní pevný biohmotný materiál, který je bohatý na organický uhlík, vodík s cennými obsahy živin.



Obrázek č. 2: Zpracování organického odpadu ve Španělsku – společnost Ingelia [23]

Univerzální biopalivo lze použít pro: výrobu elektřiny, peletizaci, přímé spalování za účelem získání tepla a energie.

Testovaný vzorek během projektu *NEWAPP* s označením jako *GW – městský zelený odpad*, vykazoval hodnoty, které jsou uvedené v tabulce č. 5.

Vlhkost [hm. %]	7
Popel [hm. %]	5-10
C - uhlík [hm. %]	55-60
N - dusík [hm. %]	1 – 1,5
Těkavé látky [hm. %]	45-55
Výhřevnost [MJ/kg]	22-23

Tabulka č. 5: Hodnoty městského zeleného odpadu testovaného vzorku během projektu *NEWAPP* [23]

Další zkušenosti uvádí například Cengiz N. [18], hydrotermální zplyňování kukuřice k výrobě vodíku a methanu. Výhoda nové technologie je, využití vlhké biomasy bez předcházejícího sušení, což je v přirozených podmínkách.

Byly provedeny mnohé studie, které se týkaly využití mnoha organických materiálů. Na Kyoto Univerzity byl studován HTC proces rozkladu hnědého uhlí. (Antal a kol.) [24]

Výhoda nové technologie je ve využití vlhké biomasy bez předcházejícího sušení, což je v přirozených podmínkách. Dále byl ověřován HTC proces rozkladu kukuřičného škrobu s dřevním prachem. (Yoshida a kol.) a na stejném pracovišti proběhla studie nadkritické hydrotermální zplyňování celulózy, hemicelulózy a ligninu. [25]

J. A. Onwudili a P. T. Williams uvádí, že výroba vodíku hydrotermálním zplyňováním biologického odpadu se jeví jako slibný zdroj pro předpokládané potřeby výroby vodíkového paliva. [26]

Převod procesu HTC do průmyslové praxe bylo zkoušeno i v dalších zemích. Například v USA pracuje závod, kde procesem HTC provádí likvidaci těl uhynulého skotu. Zajímavý je společný německo-švýcarský projekt na zpracování městské zeleně v širokém okruhu na biouhlí a to je vráceno zpět do půdy. Vzniklý plyn je využíván k energetickým účelům.

8 MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ METODY HTC V PODMÍNKÁCH OZO OSTRAVA

Uvedený podnik, který zabezpečuje sběr, svoz, třídění, využívání a odstraňování komunálních, průmyslových a nebezpečných odpadů včetně třídění plastů a jímání bioplynu, je současně provozovatelem skládky, jejíž jedna část se dlouhodobě věnuje výrobě kompostu a zpracování městské a přidružené zeleně. Současně ukládá na skládku i biomateriály z občanských sběrů, reprezentovaných převážně odběrem hnědých odpadních nádob.

Současná legislativa a její další vývoj v oblasti ukládání biomateriálů na skládky, nutí výše uvedenou organizaci k přijetí opatření, která budou minimalizovat další uložení na skládky bioodpadů.

Za tím účelem byly provedeny ověřovací testy s deponovanými materiály, které měly ukázat na možnosti praktické aplikace metody HTC na tomto konkrétním druhu bioodpadu.

9 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro účely experimentů byly provedeny odběry ve dvou časových obdobích (jaro, podzim), ve kterých lze očekávat zachycení celkové situace v kvalitě biomateriálů, jeho množství a rozdílnost složení v závislosti na časovém období. V období 7 měsíců byly provedeny odběry ve dvou etapách, které reprezentovaly celou paletu biomateriálů, který je deponován na uvedenou skládku. Každý odběr vzorků představoval reprezentativní vzorek cca 120 l biomateriálů, odebraných z několika míst na skládce. V laboratoři byl pak získán postupnou kvartací reprezentativní vzorek, který byl posléze použit na zpracování HTC procesem.

9.1 Vzorky odebraného biomateriálů

Bakalářská práce se zabývá zpracováním biosložek z komunálního odpadu metodou HTC ve dvou časových obdobích. Celkem bylo odebráno 7 reprezentativních vzorků, z několika míst na skládce OZO Ostrava.

I. ETAPA – JARO

V jarním období byly odebrány **3** vzorky, které obsahovaly celou paletu biomateriálů (viz ukázka obr. č. 3 a č. 4)

- *Trávní smetky – zkratka vzorku – OTS 2402*
- *Hnědá popelnice – zkratka vzorku – OHP 0903*
- *Drť z ořezu zeleně – zkratka vzorku – ODS 0303*



Obrázek č. 4: Ukázka - skládka OZO – Hrušov, jarní odběr OHP0903 (zdroj: autorka)



Obrázek č. 3: Ukázka – příprava jarních vzorků v laboratoři (zdroj: autorka)

II. ETAPA – PODZIM

V podzimním období byly odebrány 4 vzorky, které obsahovaly celou paletu biomateriálů:

- *Trávní smetky – zkratka vzorku: OZS 1502*
- *Hnědá popelnice – zkratka vzorku: OHP 1902*
- *Drť z ořezu zeleně – zkratka vzorku: ODR 1702*
- *Smetky z parku – zkratka vzorku: OPA 1102*



Obrázek č. 5: Ukázka
skládka OZO – Hrušov,
podzimní odběr OPA 1102
(zdroj: autorka)



Obrázek č. 6: Ukázka –
příprava podzimních
vzorků v laboratoři –
OPA 1102
(zdroj: autorka)

9.2 Příprava experimentu a popis zařízení HTC

Pro měření byly všechny vzorky upraveny na požadovanou frakci ve vibračním mlýnu, následně pak byly uloženy do předem označených vzorkovnic.

Bylo naváženo nejprve 40-50 g vzorku (podle výnosnosti daného předem připraveného vzorku), který byl následně vnesen do reaktoru a zalitý dle potřeby 250-300 ml destilované vody bez katalyzátoru. Poté pomocí osmi šroubů byla uzavřena hlava reaktoru a proběhla kontrola uzavření vypouštěcího ventilu pro odběr plynu. Před zahájením vlastního měření byl reaktor propojen s řídicí a regulační ústřednou, která autonomně zaznamenávala průběh procesu tj. tlak, teplotu a čas.

Řízení celého systému zabezpečovaly PID regulátory teploty, které udržovaly systém na zvolené teplotě 220 °C (proces byl veden v podkritickém režimu) a to vše bylo následně propojeno s PC.

Záznam o průběhu teploty a tlaku – 23 Bar byl prováděn automaticky v minutových intervalech na záznamové ústředně firmy *Comet System s.r.o.*, která postupně naměřené hodnoty přenášela do počítače.

Během celého měření byl prováděn záznam o nárůstu teplot a tlaků do předem připraveného protokolu v časovém intervalu 5 hodin. Průběh experimentů znázorňují grafy uvedené v příloze č. 8 až 13.

Ukončení procesu měření

Po ukončení procesu byl systém ponechán k vychladnutí. Po změření tlaku a před odebráním plynu do Tedlarových vaků o objemu 1 l proběhla zkouška hořlavosti. Posléze byl reaktor vyprázdněn a připraven k dalšímu měření.

Byla provedena celková materiálová bilance, pevná a plynná fáze pak postoupena k vybraným analytickým zkouškám v laboratořích na IETu. Předmětem dalších zkoušek byly metody, které měly predikovat možnosti dalšího využití nově získaných výstupů v podobě materiálů, které by našly uplatnění v dalších aplikačních procesech, tj. využití pevné fáze jako zdroje kvalitního uhlíku pro účely sorpčních procesů (v plynné i kapalné fázi), půdního kondicionéru, zejména v oblasti semenářské. Kvalita plynné fáze byla hodnocena z pohledu dalšího energetického využití a to i přímo na uvedené skládce.

9.3 Popis hydrotermálního reaktoru

Pro zpracování upravených vzorků biomasy byl použit hydrotermální reaktor pracující v režimu 180-260 °C a při autonomním tlaku 18-45 barů.

Reaktor sestává ze tří podstatných částí a to:

Hlavy reaktoru s měřicími a přenosovými čidly tlaku a středovou sondou pro měření teploty a hlavním uzavíracím ventilem pro odběr vzorků plynu. Hlava reaktoru je uchycena k tělu reaktoru 8 šrouby o průměru Φ 16 mm, které jsou utahovány na Cu těsnění momentovým klíčem nastaveným na hodnotu 210Nm.

Dále z vyhřívaného těla reaktoru o objemu 738 ml opatřeného měřicími čidly pro stanovení teploty ohřevu a z výkyvného izolačního obalu s topným tělesem a možností sklopení reaktoru do vodorovné polohy.

Celý systém je osazen několika čidly, které jsou propojeny s řídicí a regulační ústřednou. Ta zaznamenává autonomně tlak, teplotu a čas průběhu celého experimentu.

Řízení celého systému zabezpečuje PID regulátor teploty, který udržuje zvolnou teplotu.

Záznam o průběhu teploty a tlaku je prováděn automaticky v minutových intervalech na záznamové ústředně firmy *Comet System s.r.o.*, která postupně naměřené hodnoty přenáší do počítače.

Paralelně je průběh procesu sledován i obsluhou reaktoru a zaznamenán do předem připraveného záznamového protokolu v takových časových intervalech, které jsou pro daný proces potřebné.

V současné době autokláv pracuje v 6 hodinovém intervalu při tlaku 21 až 23 barů a teplotě kolem 220°C. K reaktoru jsou k dispozici všechny potřebné bezpečnostní a technické dokumenty a je schopen pracovat do tlaku 180 baru a teploty 350°C v podkritickém režimu.



1 – vsázkový reaktor s otopem

2 – tlakoměr

3 – termočlánek na měření teploty

4 – tlakové čidlo

Obrázek 7: Popis zařízení autoklávu, (zdroj: autorka)



1 – regulační skříň

2 – měřicí ústředna

Pozn.: Vpravo na obrázku je PC, který je propojen s regulační skříní a měřicí ústřednou.

Obrázek 8: Popis řídicího a snímacího zařízení (zdroj: autorka)

10 VYHODNOCENÍ VÝSTUPŮ Z EXPERIMENTŮ

Procesem HTC byly získány **3 výstupní produkty**. **Pevnou** fází představuje uhlík (biouhlí), **kapalnou** pak organické látky rozpustné ve vodě biogenní povahy, **plynnou** fází reprezentují plyny hořlavé a nehořlavé povahy. Současně byla provedena celková **materiálová bilance**.

10.1 Materiálová bilance experimentů

Každý ze sedmi experimentů byl podroben materiálové bilanci s cílem stanovení výtěžnosti jednotlivých fází. Výtěžek pevné a kapalné fáze byl proveden na základě vážení jednotlivých výstupů po ukončení experimentu, odebrání plynu a následného vyprázdnění reaktoru. Plynná fáze byla do materiálové bilance vložena jako přepočet složení plynu získaného z analýz plynové chromatografie s provedeným hmotnostním vyjádřením koncentrací jednotlivých složek. Bilance jednotlivých složek jsou uvedeny v tabulkách č. 12 až 18, které jsou součástí příloh.

10.2 Hodnocení pevné fáze

Na základě odebraných vzorků, jak v jarním, tak v podzimním období byly provedeny vybrané analýzy pevné fáze s využitím přístrojů LECO TGA 701 (W, A, V, fixní hořlavina), Elementárního analyzátoru LECO CHSN628 a Rentgenového fluorescenčního spektrometru Spectro Xepos (XRF). Byly sledovány parametry spojené se základní technickou analýzou, prvkovou analýzou a přítomností doprovodných prvků nad rámec běžného chemického složení organického materiálu (C, H, N, S, O).

10.2.1 Porovnání složení u jarních a podzimních vzorků - technická a prvková analýza

Technická a prvková analýza jednotlivých složek je uvedena v tabulkách č. 6 a 7.

Jarní odběry vykazovaly hodnoty **uhlíku** od 27 do 51 hmotnostních % a **vodíku** od 3,2 do 5,4 %. Naopak podzimní hodnoty vykazovaly vyšší hodnoty **uhlíku**, a to od 32,7 do 56,5 hmotnostních % a **vodíku** od 3,6 do 5,9 hmotnostních %.

		JARO							
		Elementární analýza [hm. %]				Technická analýza- TGA [hm. %]			
Číslo vzorku	Název vzorku	C	H	N	S	VLHKOST <i>w</i>	OBSAH POPELA <i>A</i>	PRCHAVÁ HOŘLAVINA <i>V</i>	FIXNÍ HOŘLAVINA
239/20 21	<i>ODS 0303 – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ</i>	51,0	5,4	1,2	0,1	2,3	22,6	45,2	30,0
240/20 21	<i>OHP 0903 - HNĚDÁ POPELNICE</i>	27,0	3,2	1,3	0,1	1,3	57,0	26,3	15,5
241/20 21	<i>OZS 2406 - TRÁVNÍ SMETKY</i>	45,2	4,9	2,8	0,2	2,1	28,2	47,3	22,5

Tabulka 6: Elementární a TGA analýza jarních vzorků

		PODZIM							
		Elementární analýza [hm. %]				Technická analýza – TGA [hm. %]			
Číslo vzorku	Název vzorku	C	H	N	S	VLHKOST <i>w</i>	OBSAH POPELA <i>A</i>	PRCHAVÁ HOŘLAVINA <i>V</i>	FIXNÍ HOŘLAVINA
242/20 21	<i>OTS 2402 - TRÁVNÍ SMETKY</i>	56,5	5,5	1,9	0,1	1,9	16,6	47,0	34,5
243/20 21	<i>OHP 1902 - HNĚDÁ POPELNICE</i>	32,7	3,6	1,3	0,1	1,5	47,2	32,9	18,4
244/20 21	<i>ODR 1702 - DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ</i>	44,6	4,5	1,3	0,1	2,1	32,5	40,9	24,5
245/20 21	<i>OPA 1102 - SBĚR Z PARKU</i>	55,9	5,9	1,5	0,1	2,2	12,9	57,2	27,7

Tabulka 7: Elementární a TGA analýza podzimních vzorků

10.2.2 Porovnání složení u jarních a podzimních vzorků - rentgenová fluorescenční analýza

Rentgenová fluorescenční analýza byla volena s ohledem na doplnění již stávajících informací směřujících k základnímu složení organické hmoty a dále přítomnosti doprovodných biogenních prvků, popř. prvků potenciálně nebezpečných vůči životnímu prostředí. Výsledky majoritních prvků ukazují tabulky č. 8 a 9 a srovnání grafy č. 2 a 3.

JARO									
Číslo a název vzorku		Majoritní prvky v původním vzorku [hm. %]							
		Fe	Si	Ca	Al	K	P	Ti	S
239/2021	<i>ODS 0303 – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ</i>	7,33	4,46	2,45	0,86	0,49	0,31	0,14	0,11
240/2021	<i>OHP 0903 - HNĚDÁ POPELNICE</i>	5,61	12,29	2,05	2,45	1,12	5,61	12,29	2,05
241/2021	<i>OZS 2406 - TRÁVNÍ SMETKY</i>	6,85	3,71	1,01	0,18	0,83	0,59	0,06	0,16

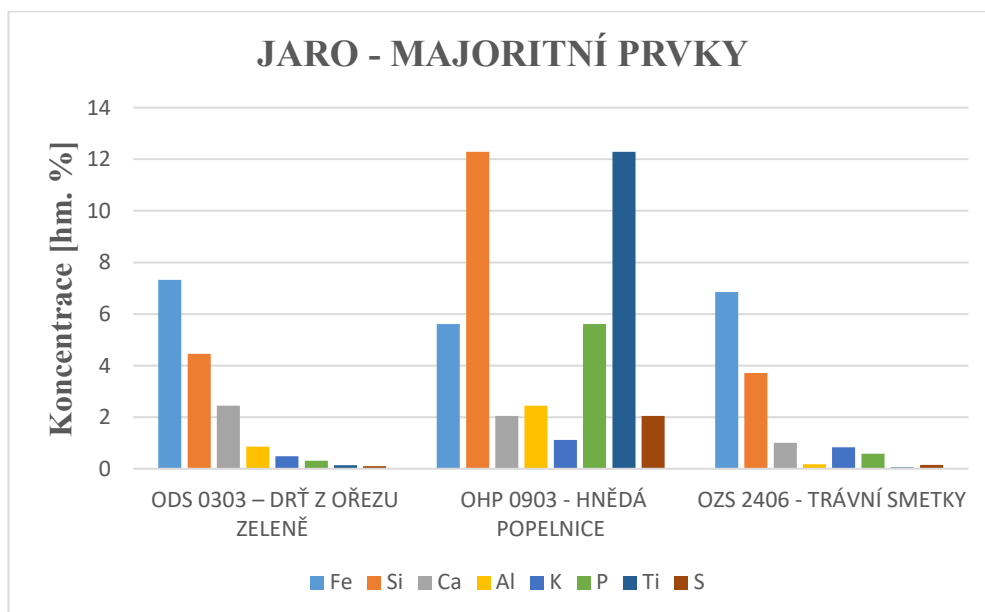
Tabulka č. 8 Zastoupení majoritních prvků – jarní vzorky

PODZIM

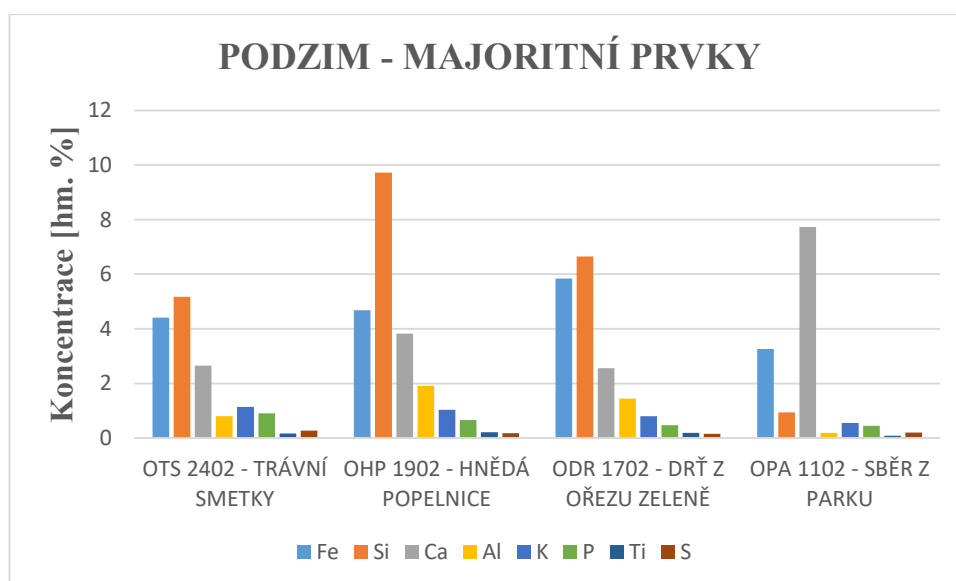
Číslo a název vzorku		Majoritní prvky v původním vzorku [hm. %]							
		Fe	Si	Ca	Al	K	P	Ti	S
242/2021	<i>OTS 2402 - TRÁVNÍ SMETKY</i>	4,41	5,17	2,65	0,80	1,14	0,90	0,17	0,27
243/2021	<i>OHP 1902 - HNĚDÁ POPELNICE</i>	4,68	9,72	3,83	1,91	1,04	0,66	0,22	0,18
244/2021	<i>ODR 1702 - DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ</i>	5,84	6,65	2,56	1,44	0,80	0,47	0,19	0,16
245/2021	<i>OPA 1102 - SBĚR Z PARKU</i>	3,26	0,94	7,73	0,19	0,55	0,45	0,08	0,20

Tabulka č. 9 Zastoupení majoritních prvků – podzimní vzorky

GRAFICKÉ VYJÁDŘENÍ – XRF ANALÝZA



Graf č. 2: XRF analýza – jarní vzorky



Graf č. 3: XRF analýza – podzimní vzorky

10.3 Hodnocení plynné fáze

Plynná fáze z jednotlivých experimentů byla hodnocena po odebrání vzorků plynů do Tedlarových vaků metodou plynové chromatografie na přístroji HP 5890 s využitím příslušných detekčních kolon. Pro vyhodnocení dat byla použita kombinace dvou detektorů a to TCD detektoru (tepelně vodivostní detektor) a FID detektoru (plamenově ionizační detektor). Jako nosný plyn byl použit argon.

Byly stanoveny vybrané skupiny plynných látek hořlavé a nehořlavé povahy. Výsledky měření u vzorku OZO park uvádí graf č. 4, ostatní výsledky jsou pak součástí přílohy č. 5, 6 a 7 a v tabulkách č. 10 a 11.

Současně byly u každého odebraného plynu provedeny příslušné přepočty směřující k hodnocení celkové materiálové bilance.

Jediná anomálie během experimentů byla zaznamenána u vzorku s označením *IET326/20, pod názvem OZOP – PARK, (viz graf. č. 4)*, kdy během nahřívání došlo k poruše na záznamovém zařízení, která byla vyvolána netěsností hlavního uzavíracího ventilu, v důsledku nečistoty na sedle ventilu.

Grafické hodnocení závislosti tlaku na teplotě v čase



Graf 4: OZOP – PARK – porucha záznamového zařízení

Analyzované vzorky - JARO																			
Označení IET	Datum měření	Navážka vzorku [g]	Objem vody [ml]	Zbytkový tlak [Bar]	Zbytkový objem [l]	Expozice vzorku	Zkoumaný materiál	Zkoumaný plyn [%]								Suma	hořlavina	Inertní plyn	Hmotnost plynu po odstranění vzduchu a doplnění do 100 %
IET 389/20	24.02.2020	40	270	0,2	2,35	5 h	TS - trávni smetky	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	H ₂	CO	O ₂	CO ₂	%	%
								0,100	0,500	0,020	0,015	0,040	0,007	4,10	4,60	19,20	71,1	99,68	9,38
IET 443/20	03.03.2020	50	250	0,3	2,64	5 h	DS - dřevní smetky	0,110	0,500	0,020	0,020	0,060	0,010	5,50	3,30	31,40	58,3	99,22	9,52
IET494/20	09.03.2020	50	250	0,2	1,16	5 h	HP - hnědá popelnice	0,120	0,500	0,020	0,010	0,060	0,007	15,00	3,80	1,40	77,3	98,22	19,52

Tabulka 10: Analyzované vzorky – jarní období

Analyzované vzorky - PODZIM																				
Označení IET	Datum měření	Navážka vzorku [g]	Objem vody [ml]	Zbytkový tlak [Bar]	Zbytkový objem [l]	Expozice vzorku	Zkoumaný materiál	Zkoumaný plyn [%]									Suma	hořlavina	Inertní plyn	Hmotnost plynu po odstranění vzduchu a doplnění do 100 %
								CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	H ₂	CO	O ₂	CO ₂	%	%	%
IET326/20	11.02.2020	50	250	0,2	1,97	5 h	P - park	0,090	0,500	0,019	0,014	0,024	0,007	1,67	4,20	11,30	79,6	97,42	6,52	90,90
IET326/20	17.02.2020	40	270	0,2	1,77	5 h	D - drť z ořezu	0,120	0,500	0,020	0,010	0,050	0,006	13,70	4,40	11,20	68,3	98,31	18,81	82,20
IET326/20	19.02.2020	40	270	0,2	1,51	5 h	HP - hnědá popelnice	0,110	0,500	0,020	0,010	0,050	0,007	10,90	3,90	13,50	71,0	100,00	15,50	87,50
IET -TS	15.02.2021	50	300	1,8	2,12	5 h	TS - trávni smetky	0,070	0,000	0,016	0,008	0,050	0,005	4,78	3,60	15,64	71,6	95,769	8,53	87,24

Tabulka 11: Analyzované vzorky – podzimní období

DISKUZE

Provedená materiálová bilance ukázala, že výtěžky pevných fází se u jednotlivých ročních období pohybují v rozmezí 35,62 – 47,0 % (viz tabulky č. 12 až 18, které jsou součástí příloh). Podzimní vzorky pak vykazují příznivější výsledky z pohledu výtěžků sledovaných fází, zejména pak fáze pevné.

Při hodnocení pevné fáze metodou elementární analýzy jarní vzorky vykazují ve stanovení uhlíku a vodíku *nižší* hodnoty oproti podzimním vzorkům, což je dáno obohacením všech biomateriálů vegetačním cyklem. Podzimní odběry se pohybovaly i na úrovni 56,5 % C hmotnostních, zatímco jarní odběry byly v rozsahu od 27,0 do 51,0% v případě nejlepšího výsledku. Pro srovnání je možné uvést testovaný vzorek městského zeleného odpadu, který uvedla společnost *Ingelia* během výzkumu ve Španělsku v rámci projektu *NEWAPP*. *Procentuální hodnoty výtěžnosti uhlíku městského zeleného odpadu se pohybovaly v rozmezí 55 – 60 %, jak je již výše uvedeno v kapitole č. 7 a v tabulce č. 5.*

Stejný závěr je možno učinit při porovnání prchavé hořlaviny, která u podzimních vzorků byla vyšší, což je dáno opět vegetačním cyklem, kdy během růstové fáze dochází k nárůstu základní hmoty, která je charakteristická zvětšením objemu celulózy, hemicelulózy a ligninu.

Rozdíl mezi analýzami v jarním a podzimním cyklu však nejsou tak výrazné, aby v případě dalšího zpracovávání těchto materiálů byl vyžadován jiný technologický cyklus, tzn., nedalo by se kompostovat, drtit apod.

Z prvkové analýzy jarních vzorků nevyplynuly zásadní rozdíly vzorků podobné geneze. Rozdíl se projevuje mezi přítomnou *dřevní hmotou* a *smetky*, což je dáno charakterem základní buněčné stavby.

Provedená spektrální analýza prokázala podobnost v chemickém zastoupení vybraných prvků, vzorky se podstatně nelišily, vyšší koncentrace u vybraných prvků mohou být důsledkem znečištěním vzorku.

Ze širokého spektra prvků, které nám umožňuje XRF analýza bylo pro další hodnocení vybráno jen 8 základních prvků, jejichž koncentrace je z pohledu vlastního hodnocení významná. V uvedených vzorcích při jarním i podzimním odběru byly jako majoritní

detekovány Fe a Si, v menším pak Ca, S, K, P, Al, Ti. Nebyly zde shledány žádné prvky, které by mohly ovlivnit využitelnost pevné fáze.

Plynná fáze u jarních i podzimních vzorků nevykazovala z pohledu chemického složení podstatného rozdílu. Byl proveden výpočet procentuálního zastoupení hořlavých plynů, kde nejvyšší hodnoty vykazovala drť z ořezu při podzimních sběrech, a to 18,81 %, kdy současně při zapálení plyn i hořel. Ostatní vzorky plynů obsahovaly v průměru 10% hořlavé složky.

Kapalná fáze z hlediska svého složení představuje složitý systém organických látek, v rámci uvedené práce nebyly vlastnosti hodnoceny.

ZÁVĚR

Město Ostrava je vlastníkem podniku OZO Ostrava, který zabezpečuje zpracování komunálního odpadu na katastru v Ostravě a přilehlých obcích.

V souvislosti s tlakem nové environmentální legislativy je do budoucna vyžadováno hledání nových cest materiálově-energetického zpracování biologického odpadu, který končí v současném období na skládkách, maximálně je pak zpracováván v procesu kompostování.

Byly provedeny experimentální práce, které měly posoudit možnost přenosu hydrotermální karbonizace do průmyslové praxe, současně s podchycením změn v základní stavbě organické hmoty v rámci vegetačního cyklu.

Získané výsledky mohou být součástí rozhodovací analýzy, která by umožnila v následném období vytvořit veškerého biologického odpadu.

Při řešení bakalářské práce bylo provedeno celkem 7 odběrů organické hmoty v jarním a podzimním období, která je reprezentativním vzorkem celého vegetačního cyklu.

Byl navržen postup a stanoveny technické parametry pro vedení procesu v režimu hydrotermálního zpracování u odebraných vzorků. Experimentální zařízení je v současné době provozováno na katedře Ochrany životního prostředí v průmyslu VŠB-TU Ostrava.

Provedená materiálová bilance výstupů z procesu HTC ukazuje, že z 1 tuny biomateriálu lze získat až 60 % pevné fáze, zbytek představuje fáze kapalná a plynná.

Pevnou fázi z výstupu prezentuje biouhlí, které může být využito v řadě průmyslových odvětví, počínaje elektronikou, stavebnictvím, zemědělstvím až po chemický průmysl. Při řešení bakalářské práce byl získán uhlík, který svým chemickým složením odpovídá kvalitě biouhlí, které by již bylo vhodné k přímé aplikaci v zemědělství. Dalšími vybranými fyzikálně-chemickými úpravami lze uvedené biouhlí připravit i pro výše zmiňované aplikace v jiných průmyslových odvětvích.

Plynná fáze z pohledu hořlavé části je prezentována zastoupením H_2 , CO a v menší míře methanem. Pro vlastní podnik OZO Ostrava by se hořlavé složky obsažené v plynu daly využít společně se současně již produkovaným skládkovým plynem. V praxi by však bylo potřeba nejprve eliminovat vyšší obsah CO_2 obsaženého v plynu

z hydrotermální karbonizace. Plyn lze využít pro účely vytápění blízké věznice nebo do budoucna pro nově vznikající průmyslovou zónu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2020 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/news_20191207_cesko_ceka_velka_odpadkova_revolute_vlada_dnes_schvalila_novou_odpadovou_legislativu>
2. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2020 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/odpady_podrubrika>
3. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2020 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Souhrna_data_2009_2019-20201119.002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Souhrna_data_2009_2019-20201119.002.pdf)>
4. *Sensoneo* [online]. 2019 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <<https://www.komunalniekologie.cz/info/nejvetsi-producenti-odpadu-na-svete-global-waste-index>>
5. *STEO* [online]. Praha: STEO, 2009 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <<http://www.odpadjeenergie.cz/svet-a-cr/cr-a-evropa/pozadavky-evropske-unie>>
6. *Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal L 182, 16/07/1999* [online]. p. 1 – 19 (*Směrnice Rady 1999/31/ES z 26. dubna 1999 o skládkách odpadů*) [online] 1999 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/1999-31-ec>>
7. *Petr Grusman a Ivana Vitmajerová společnost INISOFT s.r.o.* [online]. Liberec - Staré Město: INISOFT [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <<https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/biologicky-rozlozitelny-odpad-a-evidence-odpadu>>
8. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/850* [online]. 2018 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0850&from=en>>
9. SLIVKA, Vladimír, Vojtech DIRNER a Mečislav KURAŠ. *Odpadové hospodářství I: praktická příručka*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2006. ISBN 80-248-1245-2

10. JUCHELKOVÁ, Dagmar, Vojtech DIRNER a Mečislav KURAŠ. *Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi: praktická příručka*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0753-X.
11. Kamm, B., Kamm, M. Principles of biorefineries. *Appl Microbiol Biotechnol* 64, [online] s. 137–145 (2004). [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1007/s00253-003-1537-7>>
12. DVOŘÁČEK, Tomáš. CZ Biom – České sdružení pro biomasu [online]. Praha 2009 [cit. 2011-04-24]. *Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO*. Dostupné z: <Biom :: František Straka : Komunální odpady - anaerobní fermentace versus skládkování : Biom.cz>
13. HAAS, Reihard, KRANZL, KNÁPEK, : *Současný stav a perspektivy rozvoje využití biomasy v zemích střední Evropy*. Biom.cz [online]. 2009-12-16 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <Biom.cz Reihard Haas, Lukas Kranzl, Jaroslav Knápek : Současný stav a perspektivy rozvoje užití biomasy v zemích střední Evropy : Biom.cz> ISSN: 1801-2655.
14. STRAKA, František: *Komunální odpady - anaerobní fermentace versus skládkování*. Biom.cz [online]. 2005-08-24 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/komunalni-odpady-anaerobni-fermentace-versus-skladkovani>>. ISSN: 1801-2655
15. *Thermal gasification of biomass technology development in the U.S.A.* [online]. Finland: Babu, S P, Bain, R L, and Craig, K R., 1996 [cit. 2021-4-27]. ISSN 951-38-4555-9. Dostupné z: <<https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/570536>>
16. MRKVICA, M. RESEARCH INTO THE USE OF BIODEGRADABLE WASTE. *MendelNet 2010* [online]. 2010, 402-411 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2010/articles/17_mrkvica_310.pdf>
17. TITIRICI, M. M., Markus ANTONIETTI, Bo Hu KAN WANG, Liheng WU a Shu-Hong YU. *Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass* [online]. 12. 2. 2010, **2010** (22), 813-828 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <doi:<https://doi.org/10.1002/adma.200902812>>

18. CDN. Environmental Impacts of Hydrogen Production by Hydrothermal Gasification of a Real Biowaste. [online]. 2014-03-14 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z:<40411.pdf (intechopen.com)>
19. DLABAJA, Tomáš. *FERMENTACE KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ Brno*, 2009 [cit. 2021-04-28]. Diplomová práce VUT FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
20. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ *Analýza možností uplatnění dostupných technologií pro zvýšení úrovně materiálového využití odpadu se zaměřením na materiálové využití složek komunálního odpadu a biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO)*. [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z:<[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-4_1_MZP_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_1_MZP_FIN-20160810.pdf)>
21. ZEMÁNEK, P., BURG, P., KOLLÁROVÁ, M., MAREŠOVÁ, K., PLÍVA, P. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. [Biologically Degradable Waste and Composting]. Praha : VÚZT, 2010, č. 1. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3
22. MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: *Biomasa pro energii (1) Zdroje*. Biom.cz [online]. 2002-02-01 [cit. 2021-04-28] Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/index.shtml?x=62863>>
23. *Ingelia* [online]. Španělsko [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <<https://ingelia.com/index.php/modelo-negocio/carbonizacion-de-biomasa/?lang=en>>
24. M.J. ANTAL, S.G. ALLEN, D. SCHULMAN, X. XU, R.J. DIVILIO, *Biomass gasification in supercritical water. Industrial & Engineering Chemistry Research* 39 (2000), s: 4040–53
25. T. YOSHIDA, Y. MATSUMURA, *Gasification of cellulose, xylan and lignin mixtures in supercritical water, Industrial & Engineering Chemistry Research* 40 (2001), s: 40:5469
26. J. A. ONWUDILI and P. T. WILLIAMS. *Role of sodium hydroxide in the production of hydrogen gas from the hydrothermal gasification of biomass, International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009), Issue 14, s: 5645-5656

SEZNAM POUŽITÝCH TERMÍNŮ ZKRATEK

Biouhlí – stabilní uhlíkatý produkt pyrolýzy připravený z odpadních materiálů organického původu (tj. biomasy) bohaté na uhlík (např. zemědělský a lesní odpad, živočišný hnůj, živočišné zbytky z výrob a zpracování masa, zbytky jídla aj.)

BRKO – Biologicky rozložitelný komunální odpad

BRO – Biologicky rozložitelný odpad

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie

GJ/t – jednotka energie/ztělesněné (gigajoule)

HTC – Hydrotermální konverze

EU – Evropská unie

ISOH – Informační systém odpadového hospodářství

KO – komunální odpad

kWe – jednotka elektrického výkonu (kilowatt)

kWtep – jednotka tepelného výkonu (kilowatt)

LCF – Lignocelulózová surovina

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

MBÚ – Mechanicko-biologická úprava

MEŘO – Methylester řepkového oleje

MJ – jednotka energie (megajoule)

OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

OZO Ostrava – Odvoz a zpracování odpadů Ostrava

TJ – jednotka energie (terajoule)

CH₄ - Methan

C₂H₂ – Ethyn (acetylen)

C₂H₄ – Ethen (ethylen)

C_2H_6 - Ethan

C_3H_6 - Propen

C_3H_8 - Propan

H_2 - Vodík

CO – Oxid uhelnatý

CO₂ – Oxid uhličitý

O₂ - Kyslík

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Přehled potenciálních produktů LCF biorafinérie [11].....	21
Obrázek č. 2: Zpracování organického odpadu ve Španělsku – společnost Ingelia [23]	27
Obrázek č. 3: Ukázka – příprava jarních vzorků v laboratoři (zdroj: autorka)	31
Obrázek č. 4: Ukázka - skládka OZO – Hrušov, jarní odběr OHP0903 (zdroj: autorka)	31
Obrázek č. 5: Ukázka skládka OZO – Hrušov, podzimní odběr OPA 1102 (zdroj: autorka).....	32
Obrázek č. 6: Ukázka – příprava podzimních vzorků v laboratoři – OPA 1102 (zdroj: autorka).....	32
Obrázek 7: Popis zařízení autoklávu, (zdroj: autorka)	36
Obrázek 8: Popis řídicího a snímacího zařízení (zdroj: autorka)	36

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Nakládání se směsným KO v Evropě (údaje kg/osobu/rok), zdroj: Eurostat [5]	11
Graf č. 2: XRF analýza – jarní vzorky	41
Graf č. 3: XRF analýza – podzimní vzorky.....	41
Graf 4: OZOP – PARK – porucha záznamového zařízení.....	42
Příloha 8: Graf č. 5: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku TS - jaro	59
Příloha 9: Graf č. 6: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku DS - jaro	59
Příloha 10: Graf č. 7: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku HP – jaro.....	60
Příloha 11: Graf č. 8: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku TS – podzim	60
Příloha 12: Graf č. 9: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku D – podzim	61
Příloha 13: Graf č. 10: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku HP – podzim ...	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Produkce a nakládání s odpady v ČR v letech 2009 – 2019 [3].....	9
Tabulka č. 2: Pořadí 36 společenských států podle ročnímu objemu odpadu vyprodukovanému v přepočtu na obyvatele a způsobu, jak s ním nakládají [4].....	10
Tabulka č. 3: Katalog odpadů – ukázka katalogová čísla [7].....	13
Tabulka č. 4: Ukázka – Katalog odpadů 20 – Komunální odpady [7].....	14
Tabulka č. 5: Hodnoty městského zeleného odpadu testovaného vzorku během projektu NEWAPP [23].....	27
Tabulka 6: Elementární a TGA analýza jarních vzorků.....	38
Tabulka 7: Elementární a TGA analýza podzimních vzorků.....	38
Tabulka č. 8 Zastoupení majoritních prvků – jarní vzorky	39
Tabulka č. 9 Zastoupení majoritních prvků – podzimní vzorky	40
Tabulka 10: Analyzované vzorky – jarní období	43
Tabulka 11: Analyzované vzorky – podzimní období	44
Příloha 1: Tabulka č. 12: Materiálová bilance – vzorku OZOD1702 - podzim.....	58
Příloha 2: Tabulka č. 13: Materiálová bilance – vzorku OZODS0303 - jaro	58
Příloha 3: Tabulka č. 14: Materiálová bilance – vzorku ZOHP1902 - podzim.....	58
Příloha 4: Tabulka č. 15: Materiálová bilance – vzorku ZOHP0903 - jaro	58
Příloha 5: Tabulka č. 16: Materiálová bilance – vzorku ZOOTS2402 - podzim	58
Příloha 6: Tabulka č. 17: Materiálová bilance – vzorku ZOOTS2406 – jaro	58
Příloha 7: Tabulka č. 18: Materiálová bilance – vzorku ZOOP1102 – podzim.....	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Tabulka č. 12: Materiálová bilance – vzorku OZOD1702 - podzim.....	58
Příloha 2: Tabulka č. 13: Materiálová bilance – vzorku OZODS0303 - jaro	58
Příloha 3: Tabulka č. 14: Materiálová bilance – vzorku ZOHP1902 - podzim.....	58
Příloha 4: Tabulka č. 15: Materiálová bilance – vzorku ZOHP0903 - jaro	58
Příloha 5: Tabulka č. 16: Materiálová bilance – vzorku ZOOTS2402 - podzim	58
Příloha 6: Tabulka č. 17: Materiálová bilance – vzorku ZOOTS2406 – jaro	58
Příloha 7: Tabulka č. 18: Materiálová bilance – vzorku ZOPI1102 – podzim.....	59
Příloha 8: Graf č. 5: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku TS - jaro.....	59
Příloha 9: Graf č. 6: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku DS - jaro	59
Příloha 10: Graf č. 7: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku HP – jaro.....	60
Příloha 11: Graf č. 8: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku TS – podzim	60
Příloha 12: Graf č. 9: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku D – podzim	61
Příloha 13: Graf č. 10: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku HP – podzim ...	61
Příloha 14: Jarní odběr vzorku – HNĚDÁ POPELNICE (zdroj: autorka).....	62
Příloha 15: Jarní odběr vzorku – TRÁVNÍ SMETKY (zdroj: autorka).....	62
Příloha 16: Jarní odběr vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ (zdroj: autorka)	63
Příloha 17: PŘÍPRAVA VZORKŮ K ANALÝZE – JARO (zdroj: autorka).....	63
Příloha 18: Podzimní odběr vzorku - HNĚDÁ POPELNICE (zdroj: autorka).....	64
Příloha 19: Podzimní odběr vzorku – TRÁVNÍ SMETKY (zdroj: autorka)	64
Příloha 20: Podzimní odběr vzorku – PARK (zdroj: autorka)	65
Příloha 21: Podzimní odběr vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ (zdroj: autorka)....	65
Příloha 22: Ukázka podzimního odběru vzorku – HNĚDÁ POPELNICE - příprava k analýze (zdroj: autorka).....	66
Příloha 23: Ukázka podzimního odběru vzorku – PARK – příprava k analýze (zdroj: autorka).....	66
Příloha 24: Ukázka podzimního odběru vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ – příprava k analýze (zdroj: autorka).....	67
Příloha 13: Měření hladiny autoklávu po konci měření (zdroj: autorka)	67
Příloha 26: Filtrace pro materiálovou bilanci, zpracování kapalného vzorku (zdroj: autorka).....	68

PŘÍLOHY

MATERIÁLOVÁ BILANCE JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST [g]							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZOD1702	40	23,29	12,6	2,88	38,77	3%

Příloha 1: Tabulka č. 12: Materiálová bilance – vzorku OZOD1702 - podzim

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST (g)							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZODS0303	50	29,02	14,54	3,94	47,5	5

Příloha 2: Tabulka č. 13: Materiálová bilance – vzorku OZODS0303 - jaro

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST (g)							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZOHP1902	40	24,19	10,15	2,56	36,9	7,75%

Příloha 3: Tabulka č. 14: Materiálová bilance – vzorku OZOHP1902 - podzim

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST (g)							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZOHP0903	50	25,55	16,7	2,29	44,54	10,92

Příloha 4: Tabulka č. 15: Materiálová bilance – vzorku OZOHP0903 - jaro

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST (g)							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZOTS2402	40	19,09	12,25	4,28	35,62	10,95

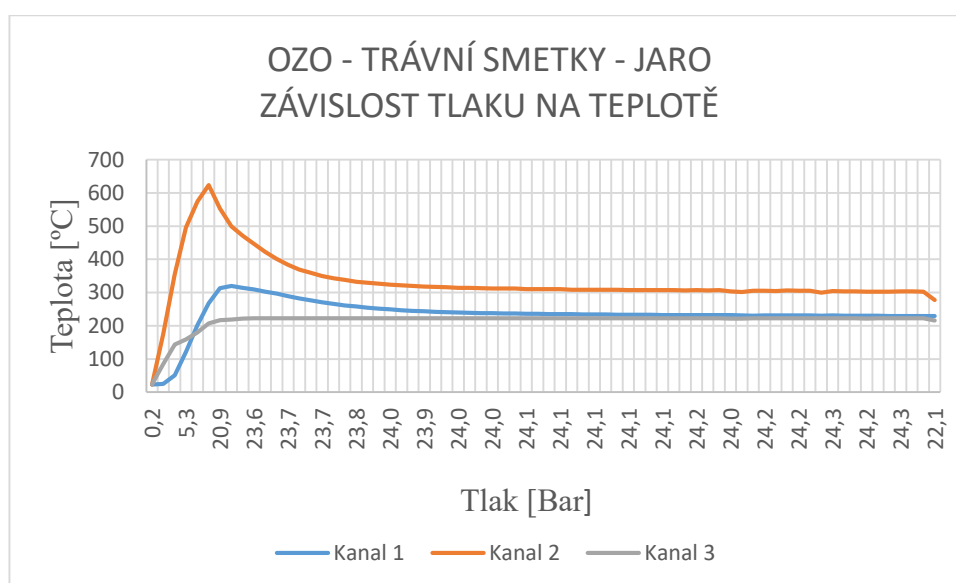
Příloha 5: Tabulka č. 16: Materiálová bilance – vzorku OZOTS2402 - podzim

MATERIÁLOVÁ BILANCE							
HMOTNOST (g)							
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BIOODPAD	OZOTS2406	50	25,22	16,18	3,84	45,24	9,52

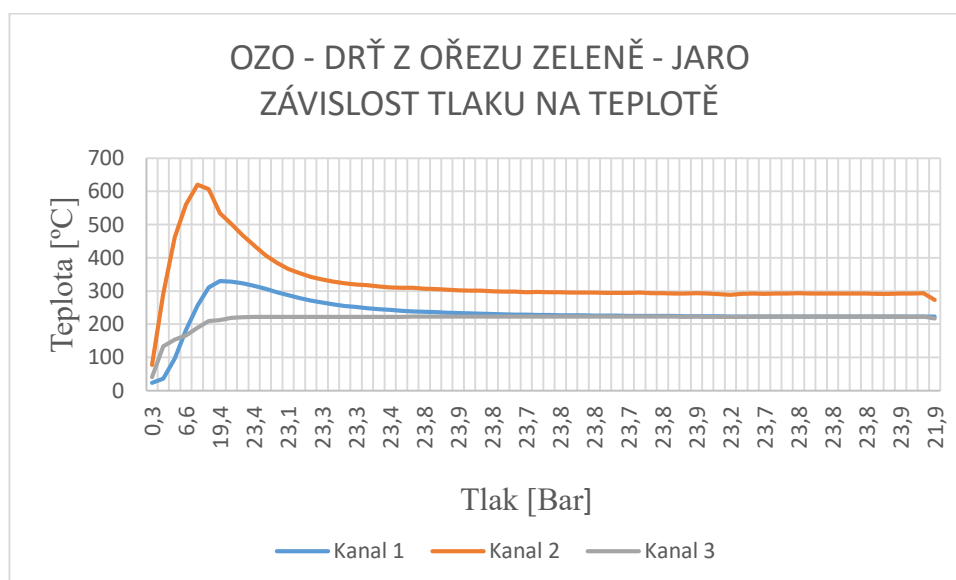
Příloha 6: Tabulka č. 17: Materiálová bilance – vzorku OZOTS2406 – jaro

		MATERIÁLOVÁ BILANCE					
		HMOTNOST (g)					
vzorek	číslo	původní (navážka)	tuhá fáze	kapalná fáze	plynná fáze	suma	ZTRÁTY
BLOODPAD	OZOP1102	50	23,23	19,06	3,71	46	8%

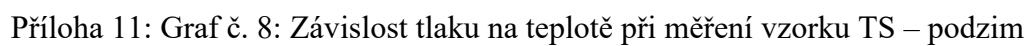
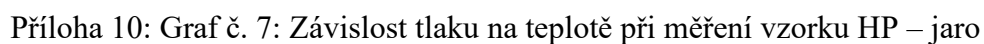
Příloha 7: Tabulka č. 18: Materiálová bilance – vzorku OZOP1102 – podzim

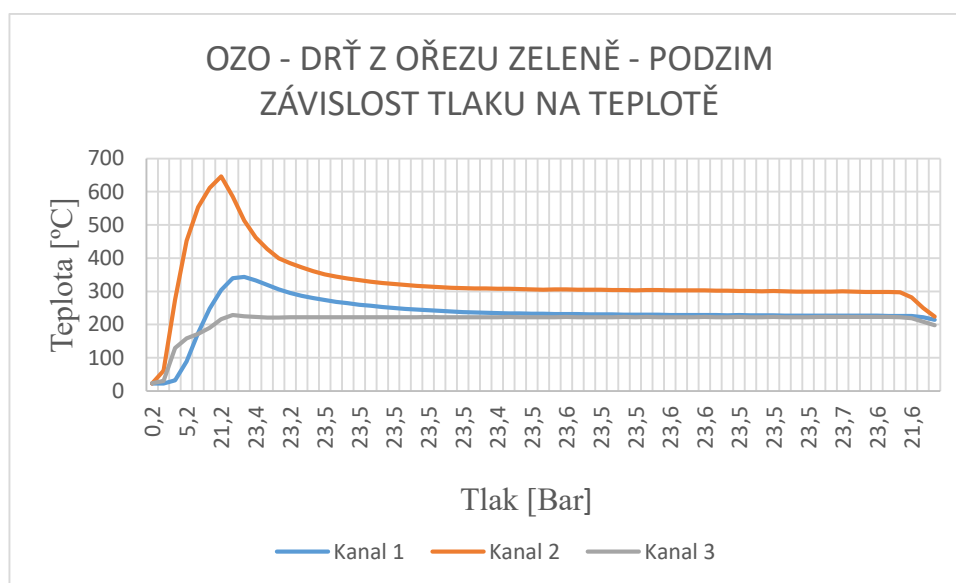
GRAFICKÉ VYJÁDŘENÍ ZÁVISLOSTI TLAKU NA TEPLITĚ

Příloha 8: Graf č. 5: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku TS - jaro

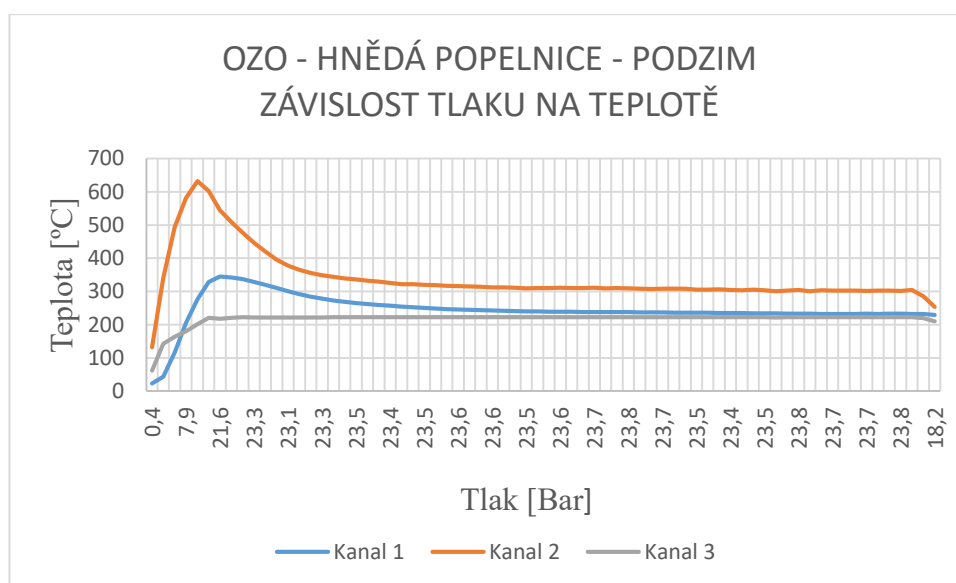


Příloha 9: Graf č. 6: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku DS - jaro





Příloha 12: Graf č. 9: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku D – podzim



Příloha 13: Graf č. 10: Závislost tlaku na teplotě při měření vzorku HP – podzim

Fotogalerie jarních odběrů vzorků:



Příloha 14: Jarní odběr vzorku – HNĚDÁ POPELNICE (zdroj: autorka)



Příloha 15: Jarní odběr vzorku – TRÁVNÍ SMETKY (zdroj: autorka)



Příloha 16: Jarní odběr vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ (zdroj: autorka)



Příloha 17: PŘÍPRAVA VZORKŮ K ANALÝZE – JARO (zdroj: autorka)

Fotogalerie podzimních odběrů vzorků:



Příloha 18: Podzimní odběr vzorku - HNĚDÁ POPELNICE (zdroj: autorka)



Příloha 19: Podzimní odběr vzorku – TRÁVNÍ SMETKY (zdroj: autorka)



Příloha 20: Podzimní odběr vzorku – PARK (zdroj: autorka)



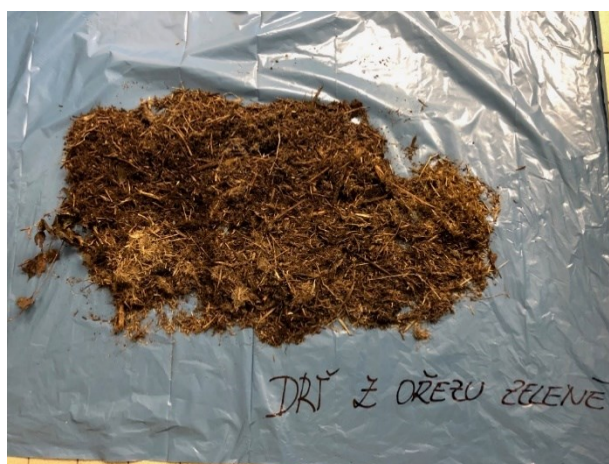
Příloha 21: Podzimní odběr vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENĚ (zdroj: autorka)



Příloha 22: Ukázka podzimní odběru vzorku – HNĚDÁ POPELNICE - příprava k analýze (zdroj: autorka)



Příloha 23: Ukázka podzimního odběru vzorku – PARK – příprava k analýze (zdroj: autorka)



Příloha 24: Ukázka podzimního odběru vzorku – DRŤ Z OŘEZU ZELENÉ – příprava k analýze (zdroj: autorka)



Příloha 25: Měření hladiny autoklávu po konci měření (zdroj: autorka)



Příloha 26: Filtrace pro materiálovou bilanci, zpracování kapalného vzorku (zdroj: autorka)

